

目 录

《THXZH-2 型 流体力学综合实验装置》概述.....	2
实验一 雷诺实验.....	5
实验二 不可压缩流体恒定流动总流伯努利方程实验.....	11
实验三 毕托管测流速实验.....	17
实验四 沿程阻力实验.....	23
实验五 局部阻力实验.....	27
实验六 文丘里实验.....	32
实验七 孔板实验.....	36
实验八 突缩、突扩演示实验.....	40

天煌科技 天煌教仪

《THXZH-2 型 流体力学综合实验装置》

一、实验内容

利用《THXZH-2 型 流体力学综合实验装置》可完成下述实验：

- 实验一 雷诺实验；
- 实验二 不可压缩流体恒定流动总流伯努利方程实验；
- 实验三 毕托管测流速实验；
- 实验四 沿程阻力系数测定实验；
- 实验五 局部阻力系数测定实验；
- 实验六 文丘里实验；
- 实验七 孔板实验；
- 实验八 突缩、突扩演示实验。

二、实验台参数

实验台总尺寸：长×宽×高=1660mm×540mm×1580mm。

潜水泵：型号 HQB-2500；最大扬程：2.5m；最大流量：2000L/h；额定功率：55W；

电源：单相~220V。

增压泵：型号 PB088-EA。最大扬程：9m；最大流量：2160L/h；额定功率：95W。

实验水箱：长×宽×高=370mm×280mm×400mm。

实验管 A：管内径 Φ 15.8mm，长约 1 m。可以完成雷诺实验，实验水位：H=250mm（可调）。

实验管 B：管内径 Φ 15.8mm，上管轴线高 0.22m，中管轴线高 0.14m，下管轴线高 0.07m，总长约 1.2m。可以完成毕托管测速及伯努利方程实验，实验水位：H=340mm 可调。

实验管 C：管径 Φ 20mm×2mm，总长约 1.3m，实验管上装有孔板流量计和文丘里流量计，可以完成文丘里、孔板流量计的测试实验。

实验管 D：管径 Φ 20mm×2mm，测定沿程阻力管长为 0.7m，测定阀门局部阻力管长为 0.17m，总长约 1.3m。可以完成沿程阻力及局部阻力的测试实验。

实验管 E：总长约 1.3 m，管径 Φ 20mm×2mm，长约 0.84m；中间接有突扩突缩实验管，管径 Φ 25mm×2mm，长约 0.46m。可完成突扩、突缩现象的演示实验。

三、实验装置组成

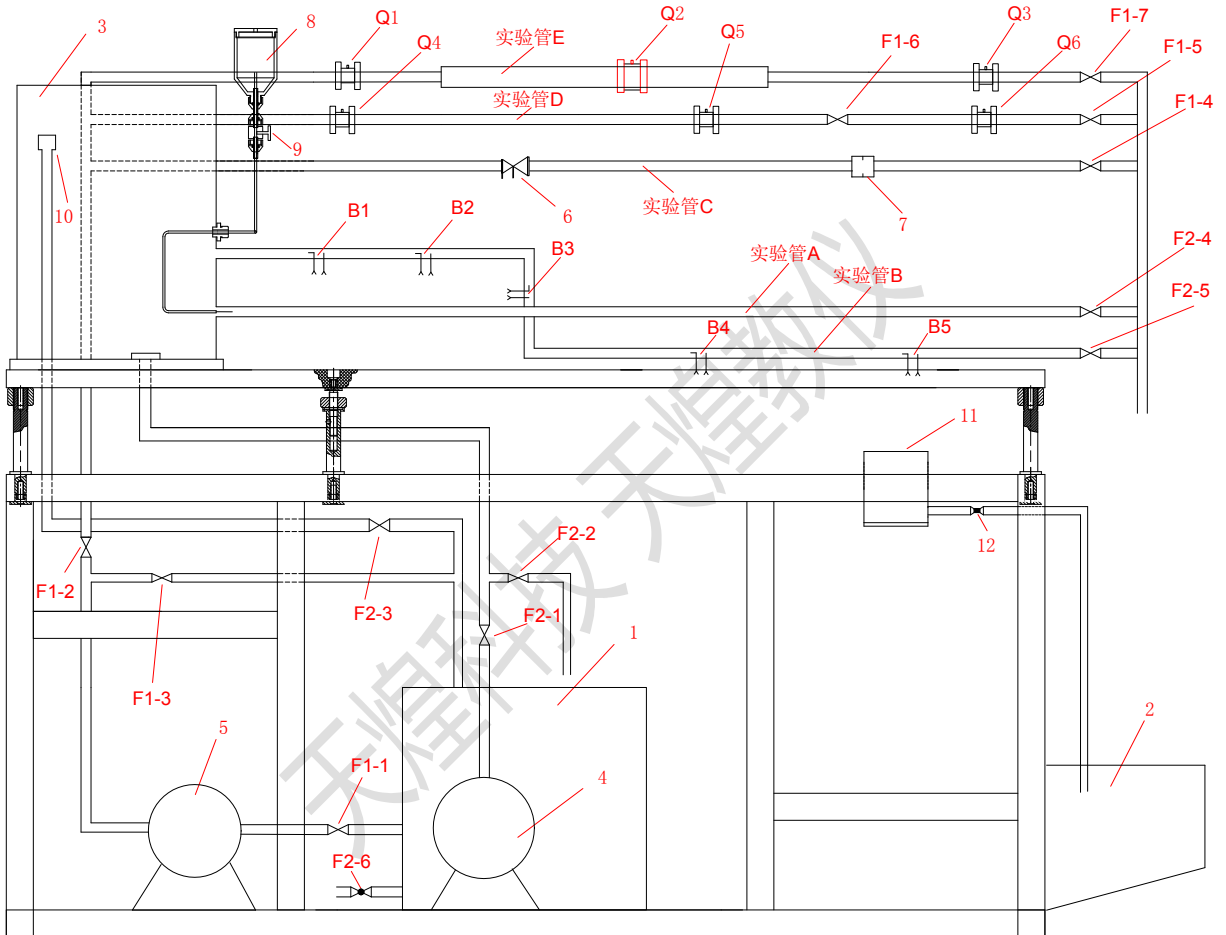
1. 系统一由增压泵 5 供水经实验管 C、实验管 D、实验管 E，流入回水箱 2，再返回到循环水箱 1 中循环使用。

2. 系统二由潜水泵 4 供水到实验水箱 3，水箱内液体分别由实验管 A 和实验管 B 流入回水箱 2，再返回到循环水箱 1 中循环使用。

3. 雷诺实验中指示剂容器 8 的颜色水经输液管阀门 9 调节，进入实验管 A，随 A 管内的流动水一起流动，显示有色的流线；经节流阀 F2-4、回水箱 2 到循环水箱 1 中。当回水箱 2 中水微红时，将消色剂储器 11 的消色剂（白醋）加入少量进其中，使有色水变清。

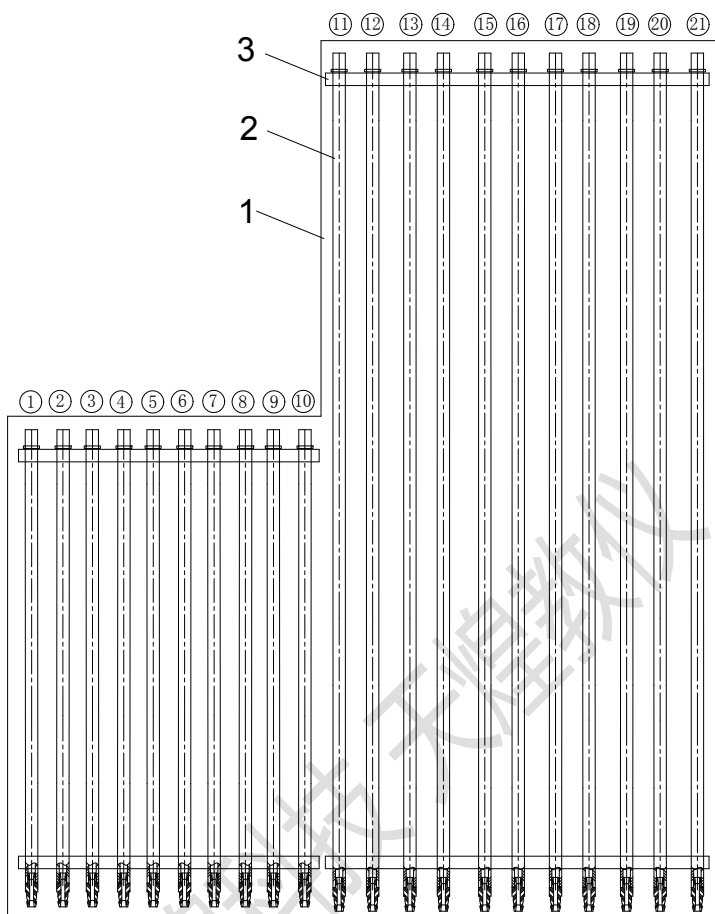
4. 实验中基准水平面的选取：用本实验装置做以上各项实验时，其基准水平面一律选择为工作台面板的上平面。

5. 实验装置如图 1、2：



1、循环水箱 2、回水箱 3、实验水箱 4、潜水泵 5、增压泵 6、文丘里流量计
7、孔板流量计 8、显色剂容器 9、输液管阀门 10、溢流杯 11、消色剂容器 12、
气管调节阀 B—毕托管 F—阀门 Q—取压环

图 1 流体力学综合实验装置示意图



1、测压管支架 2、测压管 3、穿管架

图2 流体力学综合实验装置测压管示意图

实验一 雷诺实验

雷诺数是区别流体流动状态的无量纲数。对圆管流动，其下临界雷诺数 Re_c 为 2300 ~ 2320。小于该临界雷诺数的流体为层流流动状态，大于该临界雷诺数则为紊流流动状态。工程上，在计算流体流动损失时，不同的 Re 范围，采用不同的计算公式。因此观察流体流动的流态，测定临界雷诺数，是《流体力学》课程实验的重要内容。

一、实验目的

1. 观察层流、紊流的流态及其转换特性；
2. 测定临界雷诺数，掌握圆管流态判别准则；
3. 学习雷诺数用无量纲参数进行实验研究的方法，并了解其实用意义。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用实验管 A。

三、实验原理

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

$$v \text{ 平均流速 (m/s)} \quad v = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \text{ (m/s)}, Q \text{ 用容积法测量。}$$

$$d: \text{管道内径 } d = 0.0158(\text{m});$$

$$\nu: \text{运动粘度 } \nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \times 10^{-4} \text{ (m}^2/\text{s)} \text{ (或查表);}$$

$$t: \text{水温 (}^\circ\text{C)}。$$

四、实验方法与步骤

1. 观察两种流态：

1) 准备工作：关闭阀 F2-6，将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。关闭阀 12，将白醋加到消色剂容器中至液位约 2/3 处。关闭阀 9，将配置好的颜色水（酚酞、氢氧化钠、水的混合物，配比可视水质情况而定，其中水最好为去离子水）加入到颜色水容器 8 中至液位约 2/3 处。调节溢流杯的位置，使上杯沿口位于 250mm 处。

2) 排气及实验操作：打开阀门 F2-1、F2-3、F2-4、F2-5，其余阀门闭合，启动“潜水泵 4”，使实验水箱充水至溢流水位，排出管路中的空气。排气结束后，关闭阀 F2-4、F2-5，调节点 F2-2，使实验水箱始终保持微溢流状态，以提高 A 管进口前水体稳定度。待稳定后，微微开启阀 F2-4 和输液管调节阀 9，并注入颜色水于实验管 A 内，使颜色水线呈一条直线。通过颜色水质点的运动观察管内水流的层流流态；显色剂经导入管注入实验管 A，调节输液管调节阀 9 和 F2-4，使颜

色水流线形态清晰可见,观察颜色水线的状态变化(稳定直线,稳定略弯曲,直线摆动,直线抖动,断续,完全散开等)。然后逐渐开大节流阀 F2-4,观察颜色水直线的变化,记录层流转变为紊流的水力特征。待管中出现完全紊流后,再逐步关小节流阀 F2-4,观察由紊流转变为层流的水力特征(显色剂的流量也应根据节流阀 F2-4 的开度大小相应调大或调小)。视回水箱 2 内颜色是否变红,通过阀门 12 加入适量消色剂。

2. 测定下临界雷诺数:

1) 将阀 F2-4 打开,使管中呈完全紊流,再逐步关小节流阀使流量减小。当流量调节到使颜色水在全管刚呈现出一条稳定直线时,即为下临界状态;

2) 待管中出现临界状态时,用容积法测出流量;

3) 测记恒压水箱内水温计读数(以备计算水的运动粘度 ν);

4) 根据所测流量,计算出管中的平均流速,并根据所测的实验水温求出水的运动粘度,代入公式 $Re_c = \frac{v_c d}{\nu}$, 求出下临界雷诺数 Re_c , 并与公认值(2320)比较。若偏离过大,需重测,重测次数不少于 3 次;

5) 重测步骤与上述(1)~(4)的操作相同,根据重测数据再次计算 Re_c 值,直到 Re_c 的值在 2000~2300 之间。

3. 测定上临界雷诺数(上临界雷诺数无实际意义,仅掌握测定方法)。

逐渐开启节流阀 F2-4,使管中水流由层流过渡到紊流,当颜色水线刚开始散开时,即为上临界状态。测量此时管中的流量,计算管中的平均流速。并根据恒压水箱水温表的读数计算水的运动粘度,由公式 $Re'_c = \frac{v'_c d}{\nu'}$ 求出上临界雷诺数。测定上临界雷诺数 1~2 次。

4. 实验结束后断开电源,整理实验台,长时间不使用时,请将各容器内的物料放干净。

五、注意事项

1. 每调节阀门一次,均需等待稳定 5 分钟;

2. 关小阀门过程中,只许渐小,不许开大;

3. 颜色水由氢氧化钠水溶液和酚酞配比而成,因氢氧化钠具有很强的腐蚀性,使用时请注意安全,如皮肤接触到,请用大量清水冲洗;

4. 随出水流量减小,应适当调小进水节流阀 F2-4 的开度,以减小溢流量引发的扰动。

六、实验数据记录

1. 记录有关实验装置参数,测记有关实验数据:

水温 $t =$ (°C), 圆管液体流动公认下的临界雷诺数 $Re_c = 2320$;

运动粘度 $\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \times 10^{-4}$ (m^2/s)。(注:也可查表)

2. 整理、记录实验数据,填写到附表一内,如表 1 所示,以备后续调用。

序号	水温 $t(^{\circ}\text{C})$	颜色水形态	水体积 $V(\text{mL})$	时间 $t(\text{s})$	阀门开度增(\uparrow)或减(\downarrow)
1	25	层流	2000	70	\downarrow
2					
3					
4					

表 1

天煌科技 天煌教仪

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
同组同学 _____

序号	水温 $t(^{\circ}\text{C})$	颜色水形态	水体积 $V(\text{mL})$	时间 $t(\text{s})$	阀门开度增(\uparrow)或减(\downarrow)
1					
2					
3					
4					
5					

附表一 雷诺实验记录表

七、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模版，选中雷诺实验如图 3。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	序号	水温 t(°C)	水体积 V/mL	计量时 间t/s	管内流体 流速 u(m/s)	水的运动黏 度 ν (m ² /s)	圆管中流动 流体的雷诺 数 $Re_{管}$	圆管中液体流 动的公认下临 界雷诺数 Re_{c}	实验误差 (%)	
3										
4	1	25	2000	73	0.1397	8.9618E-07	2464	2320	6.19	
5	2									
6	3									
7	4									
8	5									
9	6									
10	7									
11	8									
12	9									
13	10									
14										
15										
16										
17										

图 3

2. 将表 1 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，如图 4 所示：

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	序号	水温 t(°C)	水体积 V/mL	计量时 间t/s	管内流体 流速 u(m/s)	水的运动黏 度 ν (m ² /s)	圆管中流动 流体的雷诺 数 $Re_{管}$	圆管中液体流 动的公认下临 界雷诺数 Re_{c}	实验误差 (%)	
3										
4	1	25	2000	73	0.1397	8.9618E-07	2464	2320	6.19	
5	2	25	2000	70						
6	3									
7	4									
8	5									
9	6									
10	7									
11	8									
12	9									
13	10									
14										
15										
16										

图 4

3. 按住鼠标左键，同时选中 E4~I4 这 5 个单元格，放开左键，将鼠标的指针移到 I4 单元格的右下角，这时鼠标指针变成一个黑的“十”字型，按住鼠标左键，同时将鼠标指针往下拖到与左边的原始数据平齐，再放开鼠标的左键，如图 5。至此，计算结果既可显示出来。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	序号	水温 t(C)	水体积 V/mL	计量时 间t/s	管内流体 流速 u(m/s)	水的运动黏 度 $\nu(m^2/s)$	圆管中流动 流体的雷诺 数 $Re_{管}$	圆管中液体流 动的公认下临 界雷诺数 Re_c	实验误差 (%)	
3										
4	1	25	2000	73	0.1397	8.9618E-07	2464	2320	6.19	
5	2	25	2000	70	0.1457	8.9618E-07	2569	2321	10.69	
6	3									
7	4									
8	5									
9	6									
10	7									
11	8									
12	9									
13	10									
14										
15										
16										
17										
18										

图 5

八、实验报告

1. 根据实验数据记录表，计算本次实验中下临界雷诺数；
2. 列出一组完整的计算示例；
3. 对得到的实验结果进行分析讨论；
4. 试分析各水流状况。

九、思考题

1. 下临界雷诺数有何意义？
2. 实验水箱内中间隔板的作用。

实验二 不可压缩流体恒定流动总流伯努利方程实验

液体流动时的机械能，以位能、压力能和动能三种形式出现，这三种形式的能量可以互相转换，在无流动能量损失的理想情况下，它们三者总和是一定的。伯努利方程表明了流动液体的能量守恒定律。对不可压缩流体恒定流动的理想情况，总流伯努利方程可表示为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = C \quad (C \text{ 为常数})$$

对实际液体要考虑流动时水头损失，此时方程变为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

h_{f1-2} 为 1、2 两个过流断面间单位重量流体的水头损失。

在国际单位制中，上述各量的单位为：

z_1 、 z_2 ——(m)；

P_1 、 P_2 ——(Pa)；

ρ ——(kg/m³)；

g ——(m/s²)；

v_1 、 v_2 ——(m/s)；

h_{f1-2} ——(m)；

α_1 、 α_2 ——动能修正系数，无量纲。

一、实验目的

1. 验证流体恒定流动时的总流伯努利方程；
2. 进一步掌握有压管流中，流动液体能量转换特性；
3. 掌握流速、流量、压强等动水力学水流要素的实际量测技能。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用实验管 B 完成此项实验。B 管管壁上共开有 5 对取压孔：B1~B5，且与测压架上的测压管①~⑩分别对应相连。其中①、③、⑤、⑦、⑨测出各点的动压头（动压头也可通过计算得出），②、④、⑥、⑧、⑩测出各点的静压头。

三、实验原理

实际流体在做稳定管流时的总流伯努利方程为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

h_{f1-2} 表示所选定的两个过流断面之间的单位重量流体的水头损失。

选测压点②、④、⑥、⑧、⑩，从相应各测压管的水面读数测得 $z + \frac{p}{\rho g}$ 值，并分别计算各

测点速度水头 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ ，并将各过流断面处的 $z + \frac{p}{\rho g}$ 与 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ 相加。

四、实验方法和步骤：

1. 准备工作：关闭阀 F2-6，将循环水箱 1 加水至约 2/3 处，调节溢流杯上沿口至 340mm 处。

2. 排气及实验操作：打开阀门 F2-1、F2-3、F2-4、F2-5，其余阀门闭合，启动“潜水泵 4”，使实验水箱充水至溢流水位，排出管路中的空气。排气结束后，关闭阀 F2-4、F2-5，调节阀 F2-2，使实验水箱始终保持微溢流状态，检查测压管①~⑩水面是否平齐(以工作台面为基准)。如不平，则应仔细检查，找出故障原因(连通管受阻、漏气、有气泡)，并加以排除，直至所有测压管水面平齐。

3. 打开节流阀 F2-5，观察测压管②、④、⑥、⑧、⑩的水位变化趋势，观察流量增大或减小时测压管水位如何变化。

4. 当节流阀 F2-5 的开度固定后，记测各测压管液位高度(即 $z + \frac{p}{\rho g}$ 的值)，同时用体积法测量出实验管 B 中的流量。

5. 测记实验水箱实验水温(以备计算 v 用)。

6. 改变流量再做一次。

7. 实验结束后断开电源，整理实验台，长时间不使用时，请将各容器内的物料放干净。

五、实验数据记录

1. 装置常数：圆管内径 $d=0.0158$ (m)，上管轴线高 0.22m，中管轴线高 0.14m，下管轴线高 0.07m，实验水箱 3 的水位 $H=0.338$ (m)。

2. 量测各测点的 $(z + \frac{p}{\rho g})$ 值，即②、④、⑥、⑧、⑩各测压管高度，并记录于附表三，如表 2 所示。

3. 上式中各测点的 α 值(动能修正系数)可参考附表根据雷诺数 Re 的范围确定。

雷诺数 Re	4×10^3	2.3×10^4	1.1×10^5	1.1×10^6
最大速度与平均速度之比 $\frac{v_{\max}}{v}$	1.26	1.24	1.22	1.17
动能修正系数 α	1.11	1.07	1.06	1.03

附表二 水力光滑管紊流速度分布规律及动能修正系数

序号	实验水位 /m	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	测压管②的液位值 R (m)	测压管④的液位值 R (m)	测压管⑥的液位值 R (m)	测压管⑧的液位值 R (m)	测压管⑩的液位值 R (m)
1	0.338	2	25.37	0.305	0.296	0.271	0.241	0.237
2								
3								
4								
5								

表 2

天煌科技 天煌教仪

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
 日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
 同组同学 _____

序号	实验水位 /m	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	测压管②的液位值 R (m)	测压管④的液位值 R (m)	测压管⑥的液位值 R (m)	测压管⑧的液位值 R (m)	测压管⑩的液位值 R (m)
1								
2								
3								
4								
5								

附表三 伯努利实验记录表

六、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模版，选中伯努利方程实验，如图 6。

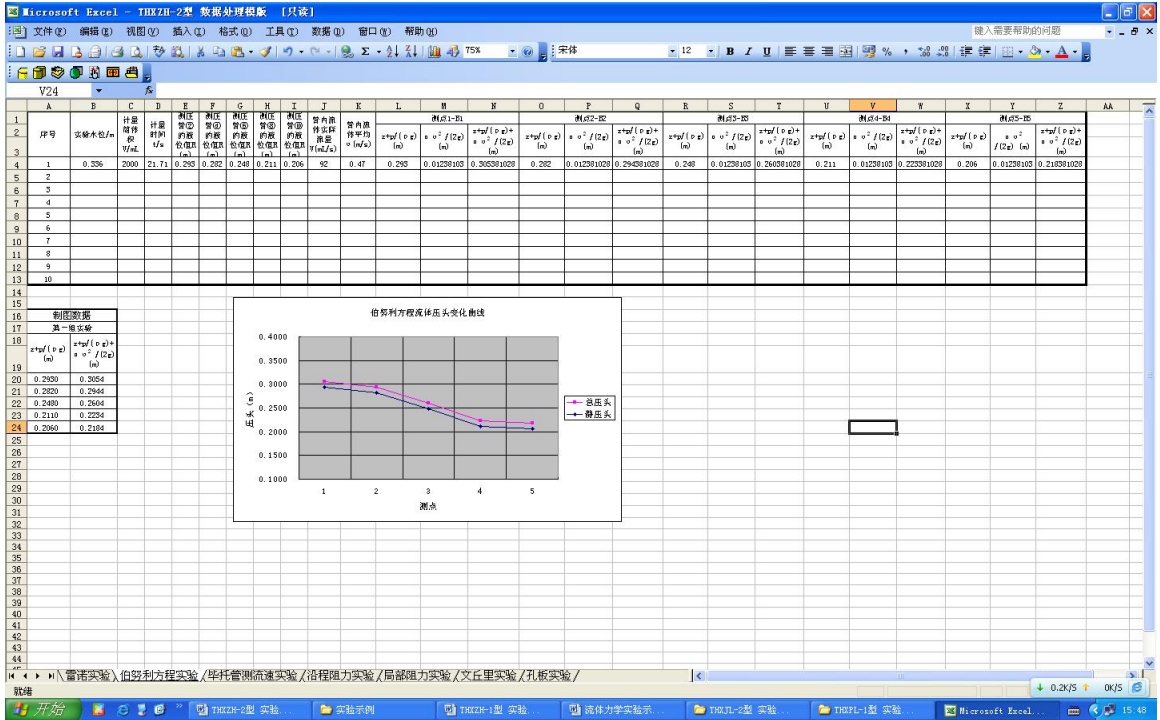


图 6

2. 将表 2 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，如图 7 所示，实验结果即显示出来。

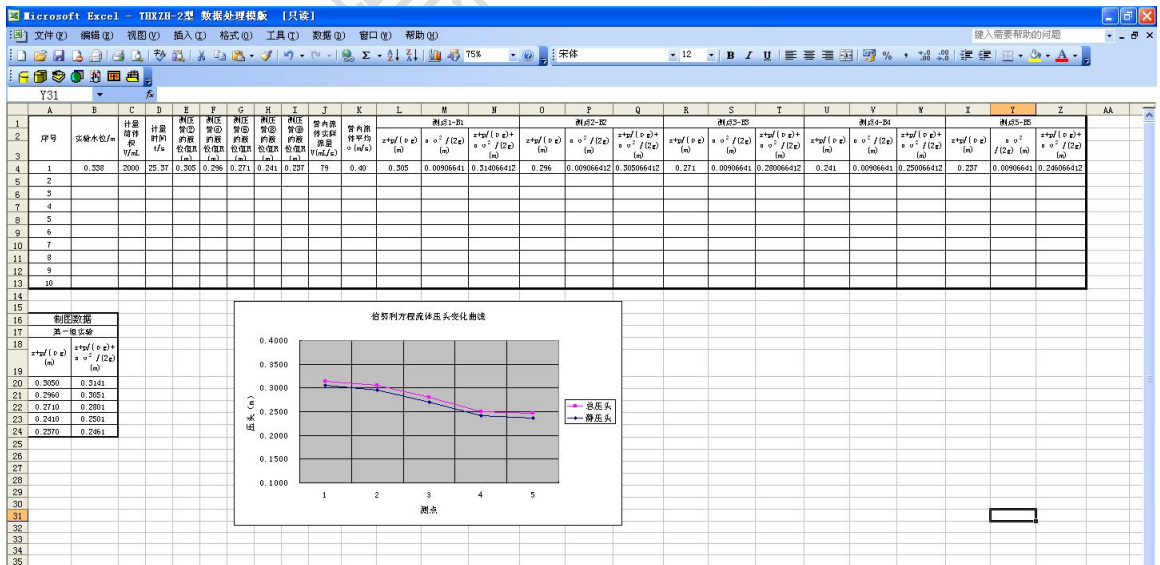


图 7

七、实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 对得到的实验结果进行分析讨论。

八、思考题

1. 测压管水头线和总水头线的变化趋势有何不同？为什么？
2. 流量增大时，测压管水头线有何变化？

天煌科技 天煌教仪

实验三 毕托管测流速实验

用毕托管测量管道中液流的速度是伯努利方程式的应用实例。毕托管是将流体动能转化为压力能，从而通过测压计测定流体运动速度的仪器。

把一根细金属管一端弯成 90° 直角形状，将此直角弯头的开口置于被测流动液体中，并使其开口迎着水流流动的方向，此即成为一个最简单的毕托管。实际使用的毕托管测速仪，是把毕托管和测压管合并在一起使用的。

一、实验目的

1. 掌握用毕托管测流速的技能；
2. 验证毕托管测速与平均流速的关系；
3. 进一步掌握有压管流中，流动液体能量转换特性。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用实验管 B 完成此项实验。B 管管壁上共开有 5 对取压孔：B1~B5，且与测压架上的测压管①~⑩分别对应相连。B 管上的取压孔①和②、③和④、⑤和⑥、⑦和⑧、⑨和⑩均可完成毕托管测定管流轴线上某点的流速实验。取压孔①、③、⑤、⑦、⑨用于测量管流轴线上某点的动压头，取压孔②、④、⑥、⑧、⑩供毕托管测量管流轴线上的静压头（因两者相距极近，其间的流动损失可忽略不计），本实验中，以①和②为例。

三、实验原理

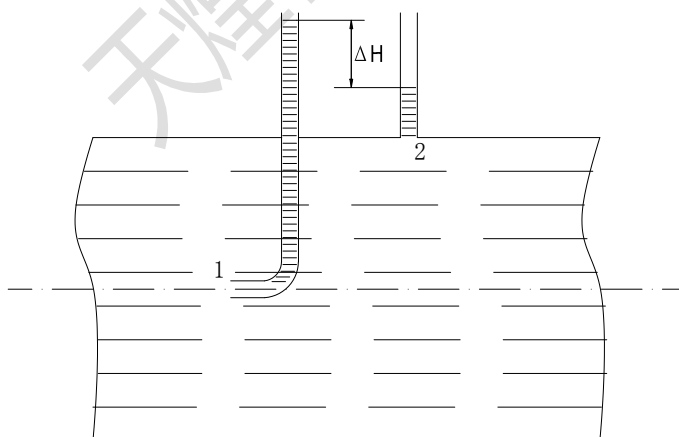


图 8 毕托管测流速原理图

如图 8 所示，在一根水平放置的等径圆管内的流体作恒定流动，管轴线上某点 1 处装有一根开口迎着水流方向的毕托管且外接有一测压管，在下游另一点 2 处外接有一测压管。1、2 两点

在轴线方向的距离极近，所以流体质点经过 1、2 两点时的能量损失忽略不计，选择同一基准面列出流体质点流经 1、2 两处的流线伯努利方程，则有：

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}$$

$\frac{p_1}{\rho g}$ 表示 1 点的冲压头，可用 h_1 表示；

$\frac{p_2}{\rho g}$ 表示 2 点的静压头，可用 h_2 表示；

于是可得
$$\frac{u^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = h_1 - h_2 = \Delta H$$

由此得 $u_{\max} = \sqrt{2g \cdot \Delta H}$ (g 为当地重力加速度)。

此时，可由体积法计算出圆管中的平均流速：

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (\text{m/s})$$

v —— 平均流速 (m/s)；

Q —— 流量 (m^3/s)， $Q=V/t$ (V 为计量体积， t 为计量时间)；

d —— 管道内径 $d=0.0158(\text{m})$ 。

同时计算出该流速下的雷诺数 $Re = \frac{vd}{\nu}$

v —— 平均流速 (m/s)；

ν —— 运动粘度 $\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{s})$ (或查表)。

雷诺数 Re	4×10^3	2.3×10^4	1.1×10^5	1.1×10^6
最大速度与平均速度之比 $\frac{v_{\max}}{v}$	1.26	1.24	1.22	1.17

附表四 水力光滑管紊流速度分布规律及修正系数

四、实验方法步骤及数据记录

1. 准备工作：关闭阀 F2-6，将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。

2. 排气及实验操作：打开阀门 F2-1、F2-3、F2-4、F2-5，其余阀门闭合，启动“潜水泵 4”，使恒压水箱充水至溢流水位，排出管路中的空气。排气结束后，关闭阀 F2-4、F2-5，调节阀 F2-2，使实验时恒压水箱始终保持微溢流状态，检查测压管①~⑩水面是否平齐(以工作台面为基准)。如不平，则应仔细检查，找出故障原因(连通管受阻、漏气、有气泡)，并加以排除，直至所有

测压管水面平齐。调节阀 F2-5，使其处于某一中等流量的开度，测量并记录毕托管①和测压管②的液位高度。

3. 为了验证毕托管测速的正确性，应记录下当时的实验水温，以使用测平均流速的方法(由所测流量计算得出)，反验毕托管测速的正确性，数据记录到附表五中，如表 3 所示。

序号	水温 $t(^{\circ}\text{C})$	V (mL)	t (s)	$h_{(1)}$ (m)	$h_{(2)}$ (m)	$h_{(3)}$ (m)	$h_{(4)}$ (m)	$h_{(5)}$ (m)	$h_{(6)}$ (m)	$h_{(7)}$ (m)	$h_{(8)}$ (m)	$h_{(9)}$ (m)	$h_{(10)}$ (m)
1	25	2000	25.37	0.311	0.298								
2													
3													
4													
5													

表 3

注：本实验测速用的测速装置，并非实际用于测速的毕托管。

4. 实验结束后断开电源，整理实验台，长时间不使用时，请将各容器内的物料放干净。

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
 日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
 同组同学 _____

序号	水 温 $t(^{\circ}\text{C})$	V (mL)	t (s)	$h_{(1)}$ (m)	$h_{(2)}$ (m)	$h_{(3)}$ (m)	$h_{(4)}$ (m)	$h_{(5)}$ (m)	$h_{(6)}$ (m)	$h_{(7)}$ (m)	$h_{(8)}$ (m)	$h_{(9)}$ (m)	$h_{(10)}$ (m)
1													
2													
3													
4													
5													

附表五 毕托管测流速实验记录表

五、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模板，选中毕托管测流速实验，如图 9。



图 9

2. 将图 9 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，如图 10 所示：



图 10

3. 按住鼠标左键，同时选中 O4~T4 这 6 个单元格，放开左键，将鼠标的指针移到 T4 单元格的右下角，这时鼠标指针变成一个黑的“十”字型，按住鼠标左键，同时将鼠标指针往下拖到与左边的原始数据平齐，再放开鼠标的左键，如图 11。至此，计算结果既可显示出来。



图 11

六、毕托管测速正确性的验证

用测量实验中 B 管流体流量的方法，可反验毕托管测速结果的正确性。

方法如下：已知实验管内径 $d=0.0158$ (m)；测得流量为 Q (m^3 / s)，于是流过测点处截面的平均流速为 $\bar{v} = \frac{4Q}{\pi d^2}$ (m/s)；根据 Re 的数值即可判断实验时管中流体是层流还是紊流。由于毕托管测速时，我们是测出管流轴线上某一点处的流速，此流速即是该过流断面上的最大流速，对于层流而言， $v_{\max} = 2\bar{v}$ ，对于 $4000 < Re < 10^5$ 的一般紊流而言，查附表可知 $\frac{v_{\max}}{\bar{v}}$ 为一常数。所以，不论哪种流态，只要求得 \bar{v} 即可求出 v_{\max} ，而 v_{\max} 正是毕托管测速时管流轴线上该被测点的流速。若两者测量计算的结果一致，则证明毕托管测速的实验值是完全可以确信无疑的。

七、实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 对得到的实验结果进行分析讨论。

八、思考题

1. 为何 B3 处的测速偏差较大？

实验四 沿程阻力实验

实际液体在流动时有沿程损失，流体平均流速不同(此时 Re 的值也相应变化)，其沿程损失值也不同。本实验可测定流体在圆管中流动时不同流态的 λ 值 (λ 一般与 Re 和 $\frac{\Delta}{d}$ 有关)，并求出 λ 与 Re 间的关系，以便与莫迪图进行对照验证。

一、实验目的

1. 深入了解流体沿程损失概念；
2. 掌握光滑管的直管阻力和直管摩擦系数的测定原理和方法；
3. 解圆管层流和紊流的沿程损失随平均流速变化的规律，测定 Re - λ 间的关系。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用测压管(15)、(16)，实验管 D 及上面的取压点 Q4、Q5 完成此项实验。管 D 内径 $d=0.016$ (m)，沿程阻力系数测定实验所选测点水平距离 $L_{Q4-Q5}=0.70$ (m)。测压管(15)、(16)液位差 ΔH 即为沿程水头损失值。调节 F1-2、F1-3、F1-5 的开度，改变其流量，即可测得相应的水头损失值 h_f 。

三、实验原理

圆管流动沿程水头损失计算过程如下：

$$\text{根据达西公式： } h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

又根据水平等径圆管在被测点 I、II 两个过流断面间的伯努利方程 $\frac{p_I}{\rho g} = \frac{p_{II}}{\rho g} + h_{fI-II}$ ，即

$$h_{fI-II} = \frac{p_I}{\rho g} - \frac{p_{II}}{\rho g} = \Delta H, \text{ 此处 } h_{fI-II} \text{ 即为达西公式中沿 } L \text{ 长度上液流的水头损失 } h_f。$$

$$\text{于是有： } \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{p_I}{\rho g} - \frac{p_{II}}{\rho g} = \Delta H$$

$$\text{即可得： } \lambda = \frac{\Delta H}{\frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}}$$

式中 ΔH 为 I、II 处测压点所连通的测压管(15)、(16)的液位差；

L 为测点的管流轴线间的长度；

d 为管道内径；

v 为圆管中过流断面的平均流速。

对于每一给定的流量 Q (m^3/s)，都可相应求出被测点 I、II 两个过流断面间液流流动中的沿程阻力系数 λ ，并可根据实验时 Re 的值，判断管流的流态，从而选用不同的 λ 计算式，反验测定结果。

四、实验方法步骤及实验数据记录

1. 准备工作：关闭阀 F2-6，将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。
2. 排气及实验操作：打开阀 F1-1、F1-2、F1-4、F1-5、F1-6、F1-7，其余阀门闭合，启动“增压泵 5”，排出管路中的空气。排气结束后，关闭阀 F1-4、F1-7，打开阀 F1-12、F1-13，调节阀 F1-2、F1-3，使测压管(15)、(16)保持微溢流状态，检查有无漏现象，若有则加以排除。
3. 调节阀 F1-5、F1-3，待管中流量稳定后，同时关闭阀门 F1-12、F1-13，读取测压管(15)、(16)的液位差，并用容积法测出流量，并记录到记录表中。
4. 改变流量，重复步骤 3，约 5~6 次，记录数据到附表六中，如表 4 所示。

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	测压管压差 R/m
1	25	2000	10.88	0.054
2	25	2000	10.32	0.058
3	25	2000	8.63	0.081
4	25	2000	6.92	0.121
5	25	2000	6.28	0.14

表 4

5. 实验结束后断开电源，整理实验台，长时间不使用时，请将各容器内的物料放干净。

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
同组同学 _____

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	测压管压差 R/m
1				
2				
3				
4				
5				

附表六 沿程阻力实验记录表

五、 实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模板，选中沿程阻力实验，如图 12。

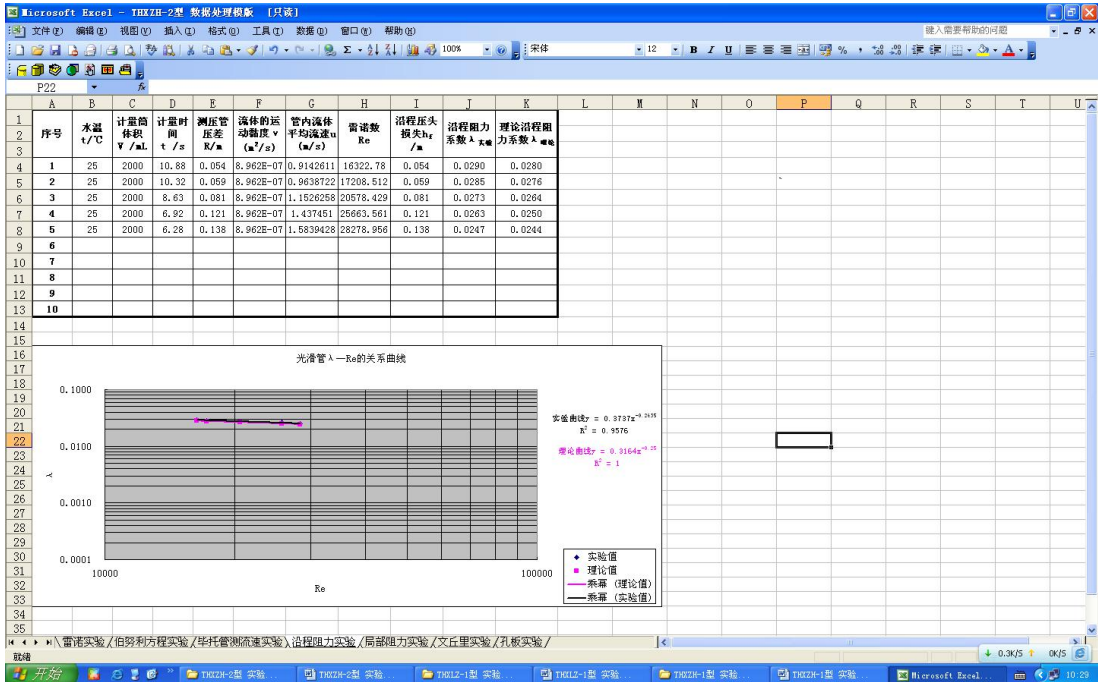


图 12

2. 将表 4 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，实验结果即出，如图 12 所示。

六、 实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 在同一双对数坐标纸上分别绘制出 $\lambda \sim Re$ 二条曲线；
3. 对得到的实验结果进行分析讨论。

七、 思考题

1. 影响实验效果的因素有哪些？

实验五 局部阻力实验

流体在流过局部阻力装置时出现速度的重新分布和漩涡运动，这是产生局部阻力的基本原因。

一、实验目的

1. 掌握测定流体流动阻力的一般实验方法；
2. 测定阀门全开或半开时的局部阻力和局部阻力系数 ζ_2 。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用测压管①⑥、①⑦，实验管 D 及上面的取压点 Q5、Q6 完成此项实验。管 D 内径 $d=0.016$ (m)，前段测量在相同流速下的沿程阻力水头损失，在闸阀的前后分别选取过流断面 1、2 的测压点①⑥、①⑦处测压，用以计算闸阀的局部水头损失及其局部阻力系数。

三、实验原理

局部阻力实验，其基本实验原理为：在局部阻力装置前后的均匀流段选取两个过流断面取压即测压管①⑥、①⑦，对这两个断面间的流体应用伯努利方程，总水头损失即两测压管的液位差由两段 PVC 管流段的沿程水头损失和闸阀局部水头损失组成。由体积法测得管路的流量，即可求得管中的平均流速；由于 PVC 管的相同流速下沿程阻力水头损失可求得，于是两段均匀流的沿程水头损失由范宁公式可计算出来。据此，即可通过伯努利方程求得局部装置的局部阻力系数 ζ_2 。原理图如 17 所示：

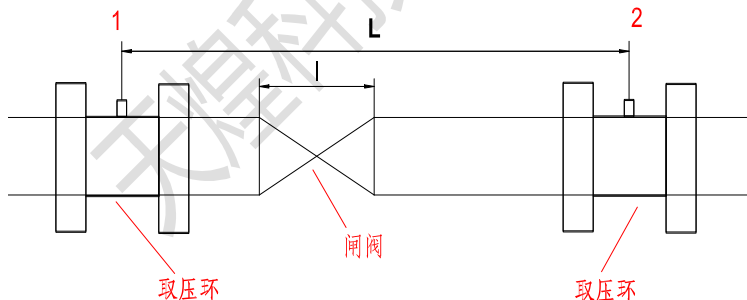


图 13

局部阻力的一般计算公式为：
$$h_j = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}$$

h_j 局部阻力装置水头损失 (m)；

ζ_2 局部阻力系数，绝大部分通过实验确定，它是一个无量纲数；

v_2 局部阻力装置后的平均流速 (m/s)。

本实验中的局部阻力系数 ζ_2 ，是相对于局部阻力装置之后的平均流速 v_2 而言。

对于上面计算用图，列出 1、2 两个过流断面间流体的伯努利方程：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

上式中, $z_1=z_2$; $v_1=v_2$;

$$\therefore h_f = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = \Delta h; \Delta h \text{ 为两测压管的液位差。}$$

根据范宁公式: $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$; 又已知相同速度下沿程水头损失为 Σh_f ; 沿程管路的长度为 l_1 ; 则阀门的阻力水头损失为

$$h_j = h_f - \frac{L-l}{l_1} \Sigma h_f$$

于是, 由 $h_f = \zeta \frac{v^2}{2g}$ 可得

$$\text{闸阀的局部阻力系数为 } \zeta = \frac{h_j}{\frac{v^2}{2g}}$$

装置常数: 沿程阻力管长 $l_1=0.70$ (m); 局部阻力管路总长 $L=0.22$ (m); 局部阻力实验中阀门长度 $l=0.05$ (m)。

四、实验方法步骤及实验数据记录

1. 准备工作: 关闭阀 F2-6, 将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。
2. 排气及实验操作: 打开阀 F1-1、F1-2、F1-4、F1-5、F1-6、F1-7, 其余阀门闭合, 启动“增压泵 5”, 排出管路中的空气。排气结束后, 关闭阀 F1-4、F1-7, 打开阀 F1-12、F1-13、F1-14, 调节阀 F1-2、F1-3, 使测压管(15)、(16)、(17)保持微溢流状态, 检查有无漏现象, 若有则加以排除。
3. 全开阀 F1-3, 待管中流量稳定后, 同时关闭阀门 F1-12、F1-13、F1-14, 读取测压管(15)与(16)、(16)与(17)的液位差, 并用容积法测出流量, 并记录到附表七中, 记录数据如表 5 所示。

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	ΔR_{15-16} /m	ΔR_{16-17} /m
1	25.6	2000	7.36	0.122	0.169
2	25.6	2000	10.13	0.068	0.092
3					
4					
5					

表 5

4. 实验结束后整理实验台, 断电, 长时间不使用时, 请将各容器内的物料放干净。

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
 日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
 同组同学 _____

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	ΔR_{15-16} $/\text{m}$	ΔR_{16-17} $/\text{m}$
1					
2					
3					
4					
5					

附表七 局部阻力实验记录表

五、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模板，选中局部阻力实验，如图 14。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
序号	F1-6开度/%	水温 t/°C	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	沿程阻力测量管压差 ΔP沿程/m	局部阻力测量管压差 ΔP局部/m	流体的运动粘度 ν (m²/s)	管内流体流速 v (m/s)	雷诺数 Re	局部压头损失 hL/m	局部阻力系数 ζ																							
1	100	25	2000	10.88	0.054	0.078	8.962E-07	0.914	16323	0.0664	1.3053																							

图 14

2. 将表 5 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，如图 15 所示。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
序号	F1-6开度/%	水温 t/°C	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	沿程阻力测量管压差 ΔP沿程/m	局部阻力测量管压差 ΔP局部/m	流体的运动粘度 ν (m²/s)	管内流体流速 v (m/s)	雷诺数 Re	局部压头损失 hL/m	局部阻力系数 ζ																							
1	100	25	2000	10.88	0.054	0.078	8.962E-07	0.914	16323	0.0664	1.3053																							
2	100	25.6	2000	7.36	0.122	0.169																												
3	50	25.6	2000	10.13	0.068	0.092																												

图 15

3. 按住鼠标左键，同时选中 H4~L4 这 6 个单元格，放开左键，将鼠标的指针移到 L4 单元格的右下角，这时鼠标指针变成一个黑的“十”字型，按住鼠标左键，同时将鼠标指针往下拖到与左边的原始数据平齐，再放开鼠标的左键，如图 16。至此，计算结果既可显示出来。整理实验结果，对照有关资料，检查所求的 ζ 值是否在合理的实验值范围内（注：由于实验条件不同，各种资料刊登的 ζ 值差别较大，不强求与那一家完全一致，目的在于让学生掌握一种测定原理和方法）。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
序号	P1-6开度 /%	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	沿程阻力测压管压差 $\Delta p_{\text{沿程}}/\text{Pa}$	局部阻力测压管压差 $\Delta p_{\text{局部}}/\text{Pa}$	流体的运动粘度 $\nu (\text{m}^2/\text{s})$	管内流体流速 $v (\text{m/s})$	雷诺数 Re	局部压头损失 $h_{\text{局}}/\text{m}$	局部阻力系数 ζ																									
1	100	25	2000	10.88	0.054	0.078	8.962E-07	0.914	16323	0.0664	1.3053																									
2	100	25.6	2000	7.36	0.122	0.169	8.842E-07	1.352	24457	0.1429	1.2720																									
3	50	25.6	2000	10.13	0.068	0.092	8.842E-07	0.982	17770	0.0774	1.2984																									

图 16

六、实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 对得到的实验结果进行分析讨论。

七、思考题

1. 影响实验效果的因素有哪些？

实验六 文丘里实验

一、实验目的

1. 掌握流量计性能测试的一般实验方法；
2. 验证文丘里流量计的孔流系数 C_V 与雷诺数 Re 的关系曲线。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用测压管(1)、(2)，实验管 C 及上面的文丘里流量计 6 来完成此项实验。水从循环水箱 1 由增压泵 5 输送至管路，经过实验管 C 流经文丘里流量计 6、孔板流量计 7 和节流阀 F1-4 后，经回水箱 2，然后返回循环水箱 1 中循环使用。管路内实际流量由体积法进行测量，并由阀 F1-2、F1-3、F1-4 调节流量，流体流过文丘里流量计的压差可分别用与各流量计相连测压管测量，流体的温度可用温度计直接测量。

三、实验原理

流体流过文丘里流量计时，都会产生一定的压差，而这个压差与流体流过的流速存在着一定的关系。

1. 文丘里流量计的标定

流体在管内的实际流量 $V_{\text{实}}$ 可用体积法测量。

$$Q_{\text{文}} = 0.4996\sqrt{gR} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

式中 R —文丘里流量计的压差读数 ($R=R_{11}-R_{12}$)，m。

2. 孔流系数 C_V 与雷诺数 Re 关系测定

流体在管内的流量和被测流量计的压差 R 存在如下关系：

$$V = C_V \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gR}$$

于是文丘里流量计的孔流系数 $C_V = \frac{4V}{\pi d^2 \sqrt{2gR}}$

式中：

d ——本实验中文丘里流量计喉径 $d=0.010618$ (m)；

C_V ——文丘里流量计的孔流系数；

g ——重力加速度， $g=9.807$ (m/s²)。

又知

$$Re = \frac{du}{\nu}$$

式中： Re ——雷诺数；

d ——PVC 管的内径，本实验中 $d=0.016$ (m)；

u ——水管内流体流速，(m/s)；

ν ——流体的运动粘度, (m^2/s)。

其中

$$u = \frac{4V}{\pi \cdot d^2}$$

根据实验所测到的 R 和 V 值, 再根据流体温度 t 计算流体的运动粘度 (也可查表得), 即可算出一系列的 $C_v \sim \text{Re}$ 值, 将这些计算结果分别标绘在单对数坐标纸上 (Re 取对数坐标), 便可得到 $C_0 \sim \text{Re}$ 关系曲线。

四、实验操作步骤和注意事项

1. 准备工作: 关闭阀 F2-6, 将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。
2. 排气及实验操作: 打开阀 F1-1、F1-2、F1-4、F1-5、F1-6、F1-7, 其余阀门闭合, 启动“增压泵 5”, 排出管路中的空气。排气结束后, 关闭阀 F1-5、F1-6、F1-7, 打开阀 F1-8、F1-9, 调节阀 F1-2、F1-3, 使测压管①、②保持微溢流状态, 检查有无漏气现象, 若有则加以排除。
3. 调节阀 F1-2、F1-3、F1-4, 定一流量 (注意: 不要使测压管①、②溢出), 待管中流量稳定后, 同时关闭阀门 F1-8、F1-9, 读取测压管①、②的液位差, 并用容积法测出流量, 并记录到附表八中。
4. 重复步骤 3, 约 5~6 次, 记录数据如表 6 所示。

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	差压计压差 R/ (cmH_2O)
1	25	2000	6.34	54.1
2	25	2000	7.01	44.2
3	25	2000	8.14	32.9
4	25	2000	9.34	24.5
5	25	2000	10.68	18.7

表 6

5. 实验结束后整理实验台, 断电, 长时间不使用时, 请将各容器内的物料放干净。

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
 日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
 同组同学 _____

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	差压计压差 $R/(\text{cmH}_2\text{O})$
1				
2				
3				
4				
5				

附表八 文丘里实验记录表

五、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模板，选中文丘里实验，如图 17。

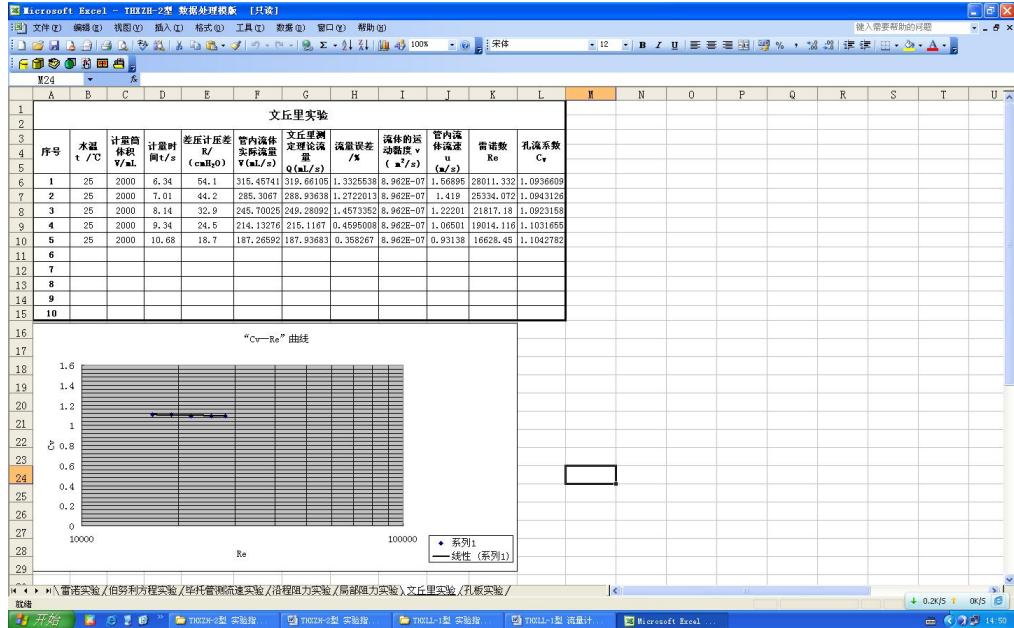


图 17

2. 将表六内的实验数据对应填入到数据处理模版中，实验结果即出，如图 17 所示。

六、注意事项

1. 每个实验项目测试前都应对测压管进行排气；
2. 因水的波动缘故，读取压差时，应同时关闭阀门 F1-8、F1-9。

七、实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 对得到的实验结果进行分析讨论。

八、思考题

1. 如果不用体积法还可以用什么方法来校正流量计？

实验七 孔板实验

一、实验目的

1. 掌握流量计性能测试的一般实验方法；
2. 验证孔板流量计的孔流系数 C_0 与雷诺数 Re 的关系曲线。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用测压管(13)、(14)，实验管 C 及上面的孔板流量计 7 来完成此项实验。水从循环水箱 1 由增压泵 5 输送至管路，经过实验管 C 流经文丘里流量计 6、孔板流量计 7 和节流阀 F1-4 后，经回水箱 2，然后返回循环水箱 1 中循环使用。管路内实际流量由体积法进行测量，并由阀 F1-2、F1-3、F1-4 调节流量，流体流过孔板流量计的压差可分别用与各流量计相连测压管测量，流体的温度可用温度计直接测量。

三、实验原理

流体流过孔板流量计时，都会产生一定的压差，而这个压差与流体流过的流速存在着一定的关系。

1. 孔板流量的标定

流体在管内的实际流量 $V_{\text{实}}$ 可用体积法测量；

$$Q_{\text{孔}} = 0.4739\sqrt{gR} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

式中 R —文丘里流量计的压差读数 ($R=R_{13}-R_{14}$)， m 。

2. 孔流系数 C_V (C_0) 与雷诺数 Re 关系测定

流体在管内的流量和被测流量计的压差 R 存在如下的关系：

$$V = C_V \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gR}$$

于是孔板流量计的孔流系数 $C_0 = \frac{4V}{\pi d^2 \sqrt{2gR}}$

式中：

d ——孔板流量计的孔径，本实验中孔板孔径 $d=0.012193$ (m)；

C_0 ——孔板流量计的孔流系数；

g ——重力加速度， $g=9.807$ (m/s^2)。

又知

$$Re = \frac{du}{\nu}$$

式中： Re ——雷诺数；

d ——PVC 管的内径，本实验中 $d=0.016$ (m)；

u ——水管内流体流速，(m/s)；

ν ——流体的运动粘度，(m²/s)。

其中

$$u = \frac{4V}{\pi d^2}$$

根据实验所测到的 R 和 V 值，再根据流体温度 t 计算流体的运动粘度（也可查表得），即可算出一系列的 C₀~Re，将这些计算结果分别标绘在单对数坐标纸上（Re 取对数坐标），便可得到 C₀~Re 关系曲线。

四、实验操作步骤

1. 准备工作：关闭阀 F2-6，将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。
2. 排气及实验操作：打开阀 F1-1、F1-2、F1-4、F1-5、F1-6、F1-7，其余阀门闭合，启动“增压泵 5”，排出管路中的空气。排气结束后，关闭阀 F1-5、F1-6、F1-7，打开阀 F1-10、F1-11，调节阀 F1-2、F1-3，使测压管⑬、⑭保持微溢流状态，检查有无漏气现象，若有则加以排除。
3. 调节阀 F1-2、F1-3、F1-4，定一流量（注意：不要使测压管⑬、⑭溢出），待管中流量稳定后，同时关闭阀门 F1-10、F1-11，读取测压管⑬、⑭的液位差，并用容积法测出流量，并记录到附表九中。
4. 重复步骤 3，约 5~6 次，记录数据如表 7 所示。

序号	水温 t/°C	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	差压计压差 R/ (cmH ₂ O)
1	25	6.34	23.1	2000
2	25	7.01	18.7	2000
3	25	8.14	13.8	2000
4	25	9.34	10.3	2000
5	25	10.68	7.4	2000

表 7

5. 实验结束后整理实验台，断电，长时间不使用时，请将各容器内的物料放干净。

专业 _____ 姓名 _____ 学 号 _____
日期 _____ 地点 _____ 装置号 _____
同组同学 _____

序号	水温 $t/^\circ\text{C}$	计量筒体积 V/mL	计量时间 t/s	差压计压差 $R/(\text{cmH}_2\text{O})$
1				
2				
3				
4				
5				

附表九 孔板实验记录表

五、实验数据处理

为计算方便，故专门配备了实验数据处理模板，下面介绍该数据处理模板的使用方法。

1. 打开 THXZH-2 型 实验数据处理模板，选中孔板实验，如图 18。

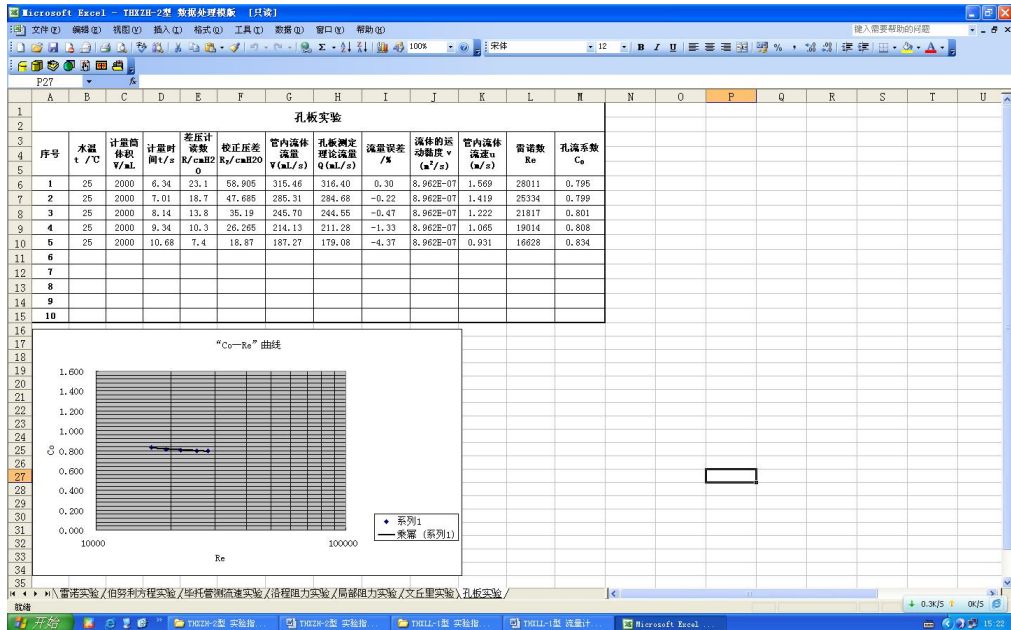


图 18

2. 将表 7 内的实验数据对应填入到数据处理模版中，实验结果即出，如图 18 所示。

六、注意事项

1. 每个实验项目测试前都应对测压管进行排气；
2. 因水的波动缘故，读取压差时，应同时关闭阀门 F1-10、F1-11。

七、实验报告

1. 列出一组完整的计算示例；
2. 对得到的实验结果进行分析讨论。

八、思考题

1. 紧靠孔板流量计前后测得的差压，是否代表流体通过流量计的永久阻力损失？为什么？

实验八 突缩、突扩演示实验

一、实验目的

1. 演示突扩突缩的实验流程，了解其实验原理，了解突扩突缩过程中阻力损失的变化；
2. 加深对局部阻力损失机理的理解。

二、实验装置

装置如图 1 所示，选用测压管(18)、(19)、(20)，实验管 E 来完成此项实验。突扩突缩实验中的三个测压点分别接测压管架上面的测压管(18)、(19)、(20)。测压管(18)、(19)液位差 ΔH 即为突扩过程沿程水头损失值，测压管(19)、(20)液位差 ΔH 即为突缩过程沿程水头损失值。调节阀 F1-7 的开度，改变实验管 E 的流量，即可测得相应的水头损失值。

三、实验原理

1. 突然扩大

流体流过突然扩大管路时，由于流道突然扩大，流速减小，压力相应增大，流体在这种逆压流动过程中极易发生边界层分离，产生漩涡。由边界层分离所造成的机械能损失要远大于此过程中流体与壁面间的摩擦损失。通过理论分析可以证明，突然扩大时摩擦损失的计算式为：

$$\omega_f = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{u_1^2}{2}$$

故局部阻力系数

$$\xi = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

式中， A_1 、 A_2 ——小管、大管的横截面积；

u_1 ——小管中的平均流速。

2. 突然缩小

当流体由大管流入小管时，该股突然缩小，此后，由于流动惯性，该股将继续缩小，直到该股截面缩小到最小，此处称为缩脉。经过缩脉后，该股开始扩大，直到重新充满整个管截面。流体在缩脉之前时顺压流动的，而在缩脉之后则和突然扩大情形类似的逆压流动，因而在缩脉之后会产生边界层分离和涡流，可见，突然缩小的机械能损失之后主要还在于突然扩大。

理论上，突然缩小的摩擦损失计算式为

$$\omega_f = 0.5 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \frac{u_1^2}{2}$$

局部阻力系数

$$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)$$

式中, A_1 、 A_2 ——小管、大管的横截面积;

u_1 ——小管中的平均流速。

实验小管内径 $d_1=0.016$ (m), 大管内径 $d_2=0.021$ (m)。

四、实验操作步骤

1. 准备工作: 关闭阀 F2-6, 将循环水箱 1 加水至约 2/3 处。
2. 排气及实验操作: 打开阀 F1-1、F1-2、F1-4、F1-5、F1-6、F1-7, 其余阀门闭合, 启动“增压泵 5”, 排出管路中的空气。排气结束后, 关闭阀 F1-5、F1-6、F1-7, 打开阀 F1-15、F1-16、F1-17, 调节阀 F1-2、F1-3, 使测压管(18)、(19)、(20)保持微溢流状态, 检查有无漏气现象, 若有则加以排除。
3. 调节阀 F1-2、F1-3、F1-4, 定一流量(注意: 不要使测压管(18)、(19)、(20)溢出), 待稳定后, 观察测压管(18)、(19)、(20)的液位高度。
4. 实验结束后整理实验台, 断电, 长时间不使用时, 请将各容器内的物料放干净。

五、实验报告

1. 对实验现象进行分析讨论。

六、思考题

1. 突缩、突扩时, 哪个差值较大, 为什么?